

49710



電力設備

劉成麒 編譯

柯士鏘 校閱



大東書局出版

電力設備

劉成麒 編譯
柯士鎔 校閱

大東書局出版

電力設備內容提要

本書有系統地介紹近代發電、變電、輸電、配電上所需各種電機、器械、與設備之原理、應用及其示例等簡潔明瞭，說理詳盡，附圖很多。可作為各工科學及專科學校教學參考之用。

原書名：Electric Power Equipment

原著者：J. G. Tarbeux

電力設備

書號：5086

編譯者	劉成麒
校閱者	柯士鏘
出版者	大東書局 上海福州路301號
印刷者	大東印刷廠 上海安慶路268弄

25開 224印刷頁 300,000字 定價30,000元
一九五三年三月初版 一九五三年十一月再版
(3001 - 5000)

上海市書刊出版業營業許可證出043號
上海市書刊發行業營業許可證發061號

目 錄

第一章	概論	1—10
第二章	電力廠之類型	11—26
第三章	負載曲線圖及其特性	27—38
第四章	發電設備	39—116
第五章	同步發電機的激磁	117—138
第六章	發電廠的電路佈置	139—148
第七章	變壓器	149—185
第八章	變壓器連接法	186—201
第九章	開關板及其佈置	202—217
第十章	司路設備	218—232
第十一章	司路與控制器械	233—256
第十二章	計器與量度	257—272
第十三章	短路電流	273—287
第十四章	短路電流計算	288—296
第十五章	輸電線路計算	297—324
第十六章	輸電線路的建立	325—344
第十七章	電力系統的保護	345—370
第十八章	輸電線路的擾亂與保護	371—384
第十九章	變電站	385—400
第二十章	配電系統	401—413

附 錄 一	電廠結構剖視圖·····	414—420
附 錄 二	蘇聯電力設備國家標準數據 ·····	421—424
附 錄 三	各國三相、50 週波的用電電壓標準等·····	425
附 錄 四	電力用硬裸銅線應用數據·····	426—433

第一章

概 論

(一)動力對於近代文明的影響 動力對於近代文明究竟起了多大作用，實屬難以估計，但吾人可以從社會發展的歷史而得一個概念。

文明之能逐步邁進，均由於長期勞動的訓練，勞動經驗的累積，製造工具，使用工具，繼續不斷的改進，並發展了工具，由於若干工程上的突出發明，使生產力獲得突出的進展。早期的人類曾為其自身的筋力所限制，但火的發現，弓箭、陶器的創造，動物的家畜化，鐵的冶製，字母的書寫，炸藥以及印刷術的發明，無疑地均為進向近代文明的里程碑。動力的發生或由位能變換成可以利用的能量，意味着人類的發展已不再受人力與畜力的限制，當需要時動力已可隨時隨地而取得。雖然此等機械非常簡單，但吾人不難想像可以利用此等簡單的機械再創造出一更大且複雜的機械。

(二)電力制度的發展歷史 早在數世紀以前，中國、埃及與以色列已經開始利用水力作業，詳見史載，此後世界各國亦相繼採用水力作為動力以供應紡織、造紙、麵粉等製造工業之需要。在 1861 年尼加拉瀑布的巨大水動力開始被開發。最初僅將水供給各個工廠使推動各廠自備的水輪；然時至 1881 年已有一中央動力廠建立，其動力係用繩、皮帶及軸等沿崖壁而傳動至各廠。

至 1769 年瓦特氏發明蒸汽發動機，於是蒸汽亦成為一有用的原動力。

安培氏於 1820 年闡述電流的本質及與磁場的關係，1831 年米卻

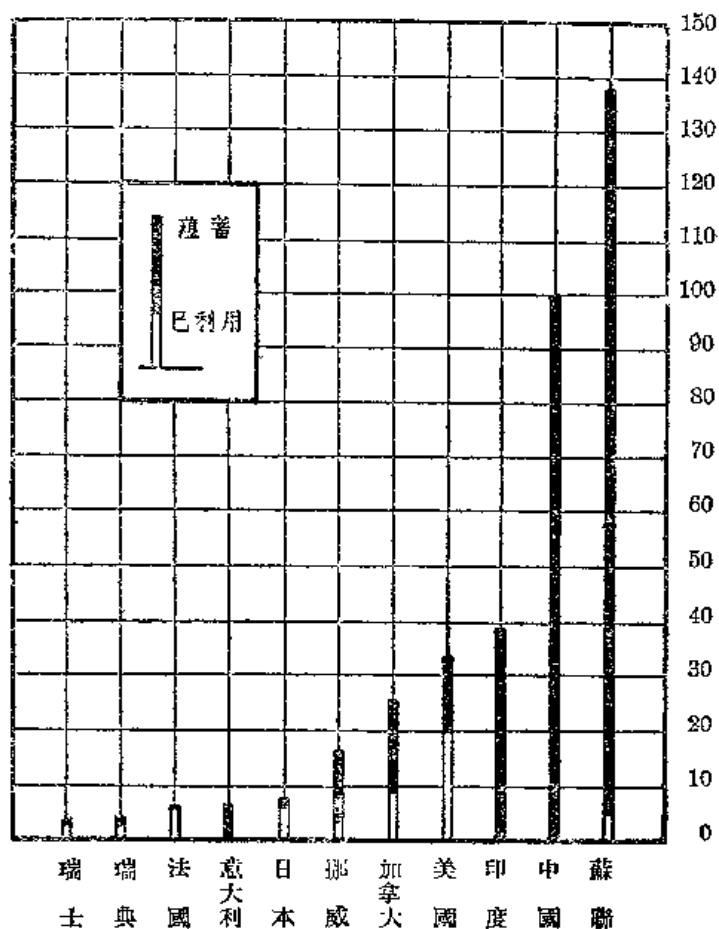


圖 1 各國重要水力國家的水力資源及其水力的利用概況 ①

爾·法拉第發現了電磁感應原理，為後來發電機與電動機的發明立下了基礎。1834年十二月，俄國科學家賈可畢氏，在巴黎科學院發表論文，宣稱是年五月已能用電磁方法得到旋轉，尤為發明電動機之第一人。格蘭姆可能是發現電能可從甲地傳輸至乙地的第一人，在1873年維也納展覽會中曾表現由一格蘭姆發電機供電予一距離550碼(503公尺)遠的電動機，使其拖動一具水泵。同年俄國洛基金創造了世界

① 係根據1950年4月第4卷第4期電世界月刊程學敏著“中國水力資源的分佈和利用”一文繪製。

第1表 各重要產石油、煤及褐煤國家的埋藏量

石 油 ②			煤 及 褐 煤 ③		
產 地	儲量(百萬公噸)	佔世界總儲量	產 地	儲量(百萬噸)	佔世界總儲量
美 國	1,000	15.99	美 國	3,838,657	51.45
蘇 聯	965	15.43	加 拿 大	1,103,883	14.79
伊朗伊拉克	829	13.25	蘇 聯	1,098,246	14.73
南美洲北部	818	13.08	德 國	345,479	4.63
墨 西 哥	646	10.33	中 國	222,106	2.93
南美洲南部	507	8.11	英 國	200,161	2.68
南 洋 羣 島	431	6.89	澳 大 利 亞	165,572	2.22
中 國	206	3.29	波 蘭	155,454	2.03
日 本	176	2.81	印 度	79,001	1.06
羅 馬 尼 亞	162	2.59	南 非 聯 邦	65,792	0.88
印 波 蘭 度	142	2.27	捷 克	40,803	0.55
加 拿 大	142	2.27	哥 倫 比 亞	27,000	0.37
北 非	132	2.11	越 南	20,002	0.27
其 他	99	1.58	法 國	18,225	0.24
			日 本	17,428	0.23
			比 利 時	11,000	0.15
			其 他	51,526	0.69
共 計	6,255	100.00	總 計	7,460,335	100.00

- ② 石油數字係根據1945年中國地質調查所第七次礦業紀要統計。所有數字是不很準確的，原因是各地方所謂“儲量”，是不完全在同一意義上的，有些數字是指“測定儲量”，有的指“可能儲量”，而最重要的是各國石油儲量的數字常在改變，如蘇聯的石油儲量就由於新油田的不斷發現每年增加很多。中國由於地區的廣闊及探測與開採工業僅萌芽，所以表中所列數字係初步的可能儲量且尚未包括台灣與舊熱河省之油儲量，亦未曾包括油頁岩中之油儲量約322百萬公噸。將來如經大規模的、廣泛且有計劃的勘探，前途自大有可觀，不能局限於此數字。但美國的油田經極度開採，已知的油田已漸枯竭，儲量因此減少很多，而新油田已很少可能再有發現。1948年美國地質學家伏斯在石油地質學會會議上承認美國石油儲量遠落蘇聯之後。另一美國地質學家威克斯估計到1948年止，蘇聯的油儲量約為美國最大儲量的二倍。

- ③ 煤及褐煤之統計數字係錄自東北人民出版社“蘇”一書。

上第一架白熾燈，1876年亞布洛奇可夫發明了弧光燈。同年，又與烏沙金二氏發明了變壓器。此種發明為電機企業活躍於商業用途方面的萌芽。1879年愛迪生改良了白熾燈，使正在發展中的電機工業受到了很多的鼓舞。此後數年由蒸汽發動機及水輪驅動的發電廠亦屢有建立。

1879年俄國多利伏·多勃羅夫斯基創造了三相交流電流制度，建立了世界上第一個三相線路，其電力輸送距離為175公里，容量300馬力，後來電壓高達20仟伏，並且預言特別強大的長途輸電將來可採用直流方式，奠定了遠距離輸電在世界上迅速發展的開端。1889年偉大的工程師多利伏·多勃羅夫斯基又發明了三相變壓器、三相感應電動機與發電機，給交流制度在世界上奠定了穩固的基礎。

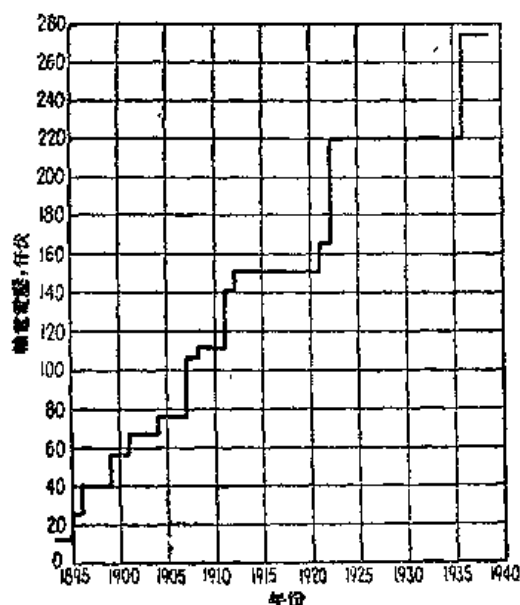


圖2 商用輸電線路電壓

1886年建立供給義大利羅馬以電力之27.4公里長輸電線，至1887年時供應此輸電線路的發電機容量為2,700匹馬力。1891年勞奮至法蘭克福間長達180公里的三相線路，其輸電電壓為12,000伏。其後世界各地之發電機容量與輸電電壓屢有提高。圖2示輸電電壓隨年代而遞增之典型情況。

在1903年以前所有蒸汽動力均由蒸汽發動機供給，此項蒸汽發動機，到後來發展成為具有極龐大的形態，且有很高的效率。但此後即到達最高限度而不易再有進步，所以在此時即有汽輪機發電廠出而問世。

再隔幾年，在蘇聯的斯大林格勒與古比雪夫將完成世界上最大的水力發電站建設，從斯大林格勒、或從古比雪夫到莫斯科將矗立一距離達1,000公里、電力為200萬瓩、電壓為400,000伏的高電壓輸電線路，這將是世界上電壓最高距離最長的輸電線路。將壓倒美國鮑爾德水力發電站的長428公里、電壓287,000伏的輸電線路。

此種偉大的共產主義建設工程無論就其規模、速度和技術來說，在世界上是無可比擬的，這證明了其社會主義制度的優越性。從這些不久就能實現的遠景中，可以看出偉大的共產主義建設工程對於蘇聯國民經濟的發展，對於創造共產主義社會的物質生產的基礎有多麼重大的意義。

今日的蘇聯即明日的中國！

(三)現行趨勢 電力工程師的任務在於以最低的代價發電，而使仍能具有美滿的服務性能，並毫不中斷；所以如將構成每瓩時(度)電能成本的各項因數加以分析研究，即可能使發電廠之將來發展，更為有利。發送至電力廠內匯流條上每瓩時電力之總成本乃由下列四項決定：

1. 運用勞動力及管理費用
2. 維護
3. 燃料消耗
4. 固定費用

在蒸汽發電廠中最高的二項費用，厥為固定費用及燃料消耗，固定費用不可能緊縮甚多，所以蒸汽發電廠中的工程師，祇能注全力於採用更有效力的方法以減低燃料費用。

蒸汽發電廠設計的趨勢可分成下列四大類：

一、增進發電廠的可靠性，因而亦增加了成本，但並不顯著影響其運用的效率，例如：

1. 採用殼罩式輪機，輔助發電機以及蓄電池組，以保證所需輔助電力之供應。

2. 在開關房中採用隔相式佈排，並使用電抗器及其他保護器械。

3. 輔助設備的重複及供給充分的鍋爐與輪機之備件。

二、減低發生每瓩時電力所需的煤斤消耗量，因而增加了發電廠的建造成本，例如：

1. 採用更高的蒸汽壓力（每方吋 900 磅即每平方公分 63.28 公斤或更高），並在其膨脹時期中將蒸汽重熱。

2. 採用粉碎燃料的設備，俾能充分加以利用。

3. 採用調速電動機驅動輔助設備，如此方可於輕載時節約電力。

4. 採用空氣加熱器或省煤器均屬此類。

5. 使主輪機之冷面凝汽器具有極大表面面積。

三、減低發生每瓩時電力所需的煤耗，結果使發電廠的成本或運用勞動力亦因而減低，例如：

1. 採用由電力開動的輔助設備。

2. 採用中等的高壓蒸汽，毋需重熱。

3. 儘量採用現有材料所能勝任的最高蒸汽溫度。

4. 採用大型汽輪機與鍋爐。

5. 採用三級或四級放熱，俾增高進水之溫度。

6. 採用大型磨粉機以碎煤。

四、增加發電廠的成本，但並不增進其可靠性，或顯著地減低煤耗，例如：

1. 各項設備的配合裝置不夠緊湊，浪費發電廠的場所。

2. 太多的藝術化裝飾。

圖 3 為歷年來煤的節約情況，如再欲經濟則必須求諸汞蒸汽循環

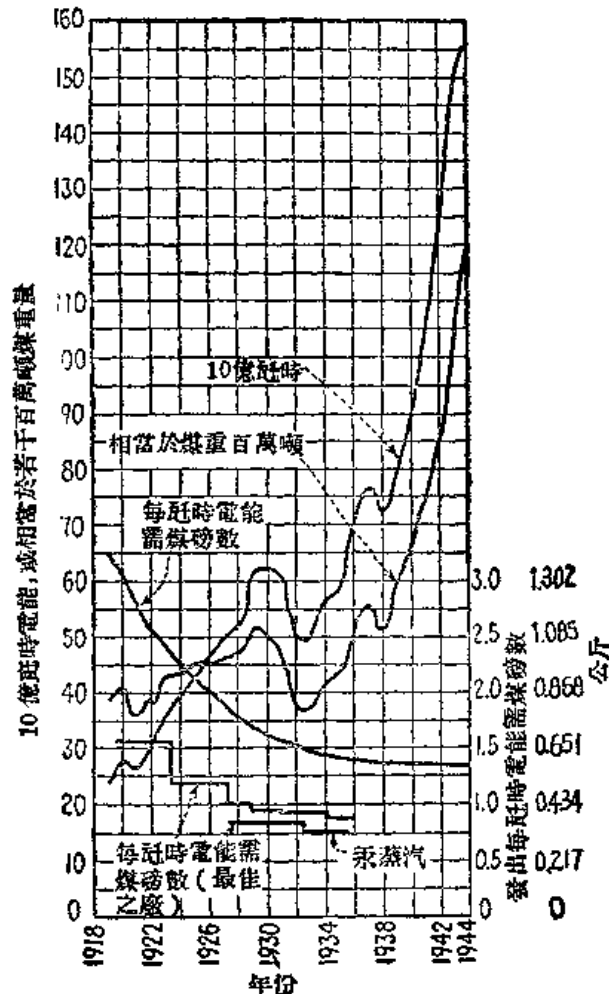


圖 3 經濟燃料之趨勢

(mercury vapor cycle)。若欲採用汞蒸汽循環則必須先行滿足下列三項條件,此即:

1. 倚靠用於汞蒸汽循環的商用設備之發展。
2. 倚靠過熱器、高壓蒸汽管、閥及汽輪機的改進與發展,須於華氏 900 度(攝氏 482°)或較此數更高的溫度中能够運用而不致發生故障。
- 三、採用氫氣或其他相當的適宜氣體作為冷卻介質,使與輪機發

電機之密封式通風制度相連接及發展新發電機的設計，俾能儘量利用此新式冷卻介質的長處。

在水力發電廠中電能成本中最重要的一個項目厥為固定費用，所以設計者之最主要的目的並非是使機械達到一高度的效率，而是要減低每單位裝置容量的成本。爲了要達到此項目的，水輪的形狀漸次增大，但下列五項因數常限制水輪無休止地繼續增大：

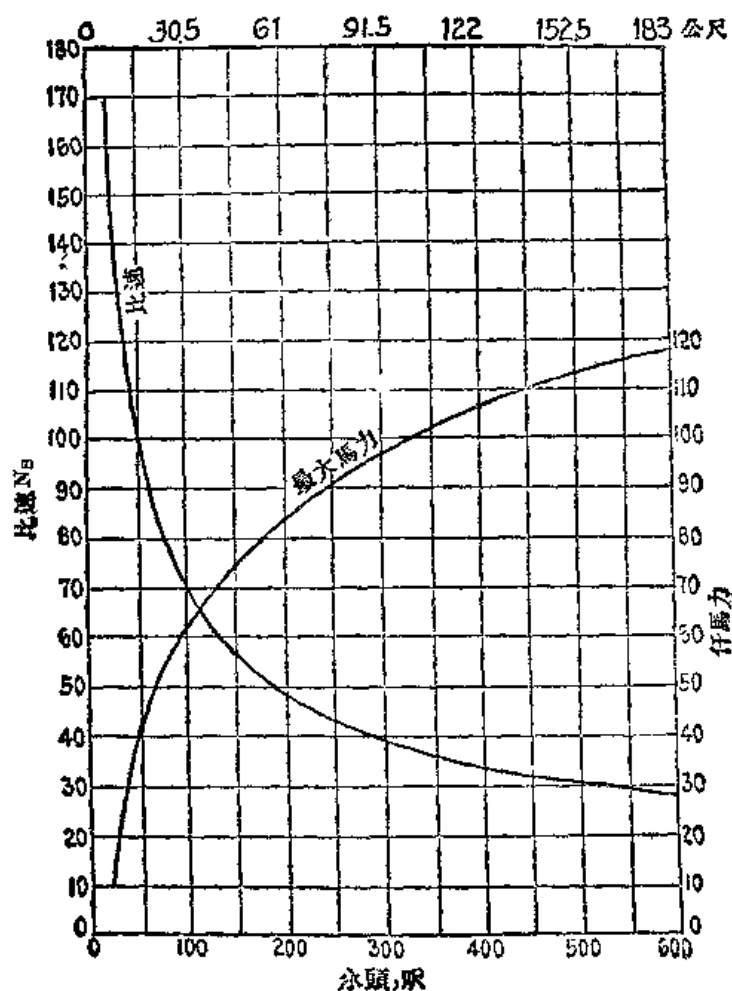


圖 4 運用於各不同水頭下之水輪機，其比速及最大容量曲線圖

1. 裝運便利。
2. 材料大小的限制。
3. 合乎經濟的發電機速率。
4. 製造上的限制。
5. 各組成部份的材料強度與壽命。

各種有不同水頭之水輪機，其最大容量可於圖 4 中查得。此曲線上所表示的數值均係過去運用水輪的經驗積累。各種不同速率水輪機之最大容量可參見第 2 表。

第 2 表 立式水輪最經濟之速率

仟 伏 安 容 量	每 分 鐘 旋 轉 數
10,000	720
20,000	600
30,000	514
55,000	400
80,000	300
110,000	200
75,000	100

在理論上講，欲建造一速率為每分鐘 100 轉而容量為 130,000 仟伏安的水輪實屬絕對可能，但究之實際，此項水輪之物理形狀將使其極不經濟。所以速率為每分鐘 100 轉的水輪，其容量限於 75,000 仟伏安始能合乎經濟原則。如能適當使用蒸汽及水力發電廠，則可達到最經濟的輸出及獲得最大的可靠性。

(四)自然界中燃料源泉的儲存 至 1930 年，效率最佳的蒸汽發電廠發生每瓩時電力的需煤量已下跌而稍低於一磅。在 1944 年，水力發電總數約達 74,500,000,000 瓩時。如以省煤成績最佳的火力發電廠而言，上項之水力電能約相當於折合每年省煤 37,200,000 噸 (33,750,000 公噸)。

前已指出，如屬同等發電容量，則水力發電廠所需的最初投資恆遠較蒸汽發電廠所需者為貴；此外，水力發電廠的擴充，因有水力關係，必須局限於當地。因此，並不非常適合於擴充；且如將目下僅需要供給少量電力的水力發電廠建造成一耗資極鉅以備將來發展的電廠亦頗不經濟。但從另一方面看，蒸汽發電廠的合乎經濟性則大大地增進。保存自然資源的較佳方法，莫若採用高壓互聯輸電網 (high voltage interconnected transmission networks)，此種輸電網由諸耗煤極省，非常經濟的蒸汽發電廠與水力發電廠的發電機供給電力。輸電網橫跨極大面積，因此可以不費吹灰之力將電力由甲地傳輸至乙地，並互相瓜代。如此方能將現存的水力發電容量，儘量加以利用，而僅需消耗最少量之燃料。

習題

1. 動力怎樣影響了現代文明？試簡論之。
2. 試列舉二件科學上最重要的發現，此等發現穩固了電機工程的基礎。
3. 試列舉四種足以左右發送至電力廠內匯流排上每瓩時電能成本之因素。在下列二種情形中，何種因數最具有重要性：(a) 蒸汽發電廠，(b) 水力發電廠。
4. 試列舉發電廠裝置的數種趨向，此項趨向能增進蒸汽發電廠的服務可靠性，但並不顯著影響運用效率者。
5. 試列舉發電廠裝置的數種趨向，此項趨向能減少蒸汽發電廠中發生每瓩時電能所需的煤耗，但需增加建立發電廠的投資。
6. 試列舉發電廠裝置的數種趨向，此等趨向不僅減低蒸汽發電廠中發生每瓩時電能所需的煤耗，並能使建立發電廠的最初投資亦因而減低。
7. 試列舉發電廠裝置的數種趨向，此等趨向增加了建立發電廠的投資，但並不增進服務的可靠性且亦不減少煤斤的消耗量。
8. 試述三種能使蒸汽發電廠達到最合經濟目標的方法。
9. 水輪之最大尺寸，由何種因素決定？

第二章

電力廠之類型

(五)原動機的種類 適用於發電的原動機，可分類如下：

- | | |
|-------|-----------------------|
| 1. 蒸汽 | { 往復式發動機
輪機 |
| 2. 水力 | { 衝力輪
反作用輪
螺旋槳輪 |
| 3. 內燃 | { 柴油
煤氣 |

一、蒸汽驅動 往復式發動機已不再使用於發電廠中，其原因並非單純由於不甚經濟，而由於所佔地位極大、最初投資高、需要很大的基礎、以及製造上的限制等。故在發電廠中，往復式發動機的地位已完全為汽輪機所替代，即使極小型的輔助設備亦不例外。汽輪機的主要優點有下述數點：(1)最初投資少；(2)維護與侍候費用甚低；(3)所佔地位及所需基礎均甚經濟；(4)在冷凝的蒸汽中不含油質；(5)無振動；(6)角速度均勻；(7)在負載變動劇烈時，仍有極高的效率。

正與往復式發動機相反，一具70,000瓩的輪機已很平常，自從三具合成體的235,000瓩汽輪機建造成功以後，設計工程師已着手考慮設計一容量更大的汽輪機，以應需要。因汽輪機不需內部潤滑，所以油類並不與蒸汽相接觸，使來自冷凝器的凝冷蒸汽毋需再行純化即可再供鍋爐給水之用。凝冷蒸汽之能被重新利用，使給水設備的成本與維護及

清潔鍋爐所需的耗費大為節省。汽輪機的速率調整，尤其是巨型低速率汽輪機，如與任何種類的活塞式發動機相較，不但毫無愧色且遠過之。且如負載變動劇烈時，汽輪機的效率，仍遠勝最優良的活塞式發動機。圖 5 為一典型汽輪機的裝置圖。

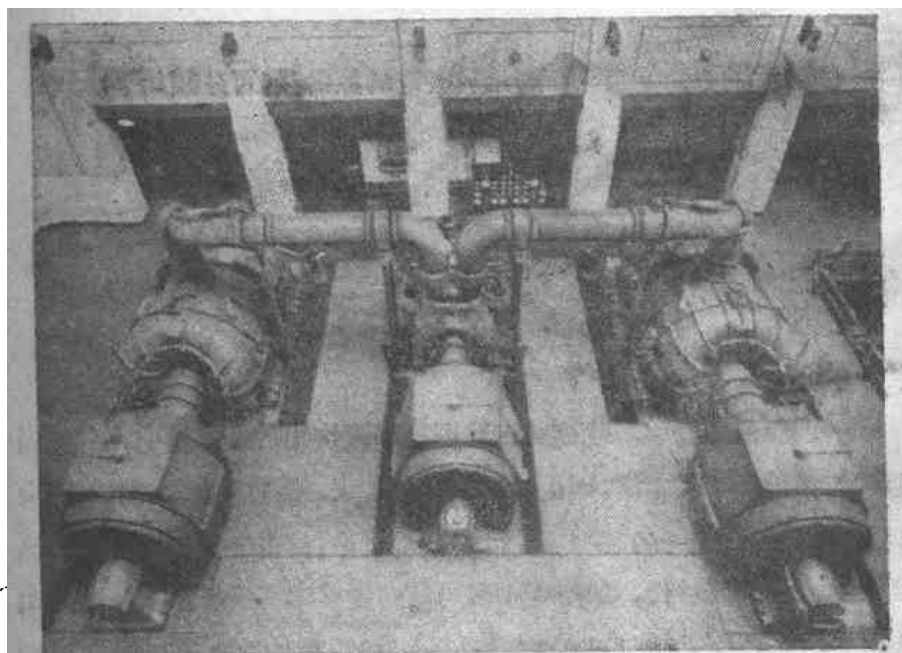


圖 5 發電廠中 60,000 瓩容量的汽輪機組俯視圖。位於中央的高壓機組接受來自鍋爐的每平方公分 18.6 公斤氣壓的蒸汽，由分支架空管排出至兩側的低壓機組中，分支架空管內氣壓約為 3.86 公斤，每一分支管中裝有一具蝶形閥能將蒸汽通路關閉。每一機組均為 20,000 瓩容量，中央機組每分鐘 1,500 轉，而兩側的機組每分鐘 1,200 轉。全部機組的頻率為每秒 60 週。

二、水力驅動 在實際運用上，水輪轉子之標準式樣有下列三種：

1. 衝力輪式 (圖 6、7)
2. 反作用式水輪 (圖 8、9)